جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌چهارم، زمستان ۱۳۹۱

صص ۹۶-۷۹

مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان– سنندج)

امیر صفاری[۱]– استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

آرش اخدر– دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۸ تاریخ تصویب:۱۳۹۲/۲/۲۲

چکیده

زمین‌لغزش‌ها نوعی حرکت دامنه‌ای هستند که نه تنها سازه‌های مهندسی مثل جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و سدها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه تلفات جانی را هم به دنبال دارند. هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های محدوده جاده ارتباطی مریوان – سنندج در استان کردستان (غرب ایران)، از طریق وزن‌دهی به معیارهای اصلی و با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 است. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از مرحله فازی‌سازی معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه با استفاده از روش‌های مذکور، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش جهت ارزیابی این دو روش از طریق عملگرهای گامای فازی با لانداهای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ تهیه شد و با مقایسه نقشه‌های نهایی، مدل ایده‌آل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این محدوده انتخاب شد. نتایج نشان داد که از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، روش مناسب‌تری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در این جاده ارتباطی محسوب می‌شود.

کلید واژه‌ها: جاده ارتباطی مریوان – سنندج، زمین‌لغزش، ارزیابی، پهنه‌بندی، نسبت فراوانی، مدل فازی.

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۱۸۷۰۷۹۲ Email: safari@tmu.ac.ir

مقدمه

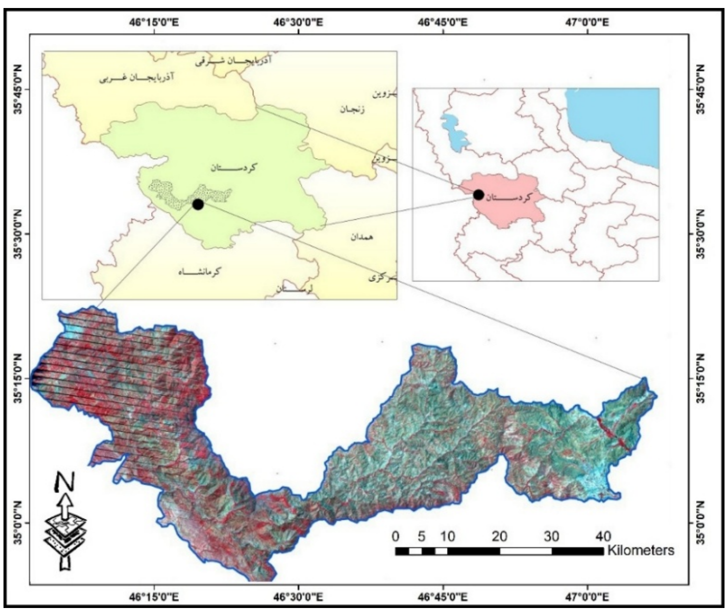
در وقوع هر پدیده طبیعی ممکن است یک یا چند عامل دخیل باشد که هر یک از آن‌ها نقشی معینـی را در ایـن زمینه ایفا می‌کند. زمین‌لغزش، همچون سایر پدیده‌های طبیعی، نتیجه حضور و تأثیر متقابل عوامل گوناگون است. فهم میزان تأثیر هر کدام از این پدیده‌ها از طریق مدل‌های ریاضـی و تجربـی امکـان‌پـذیر اسـت. چانـک و فـابری[1] در سـال ۱۹۹۳ چارچوب جامعی را برای تحلیل حساسیت زمین‌لغزش تدوین کردند (هون چی[2] و همکـاران، ۲۰۰۲). بـرای پهنـه‌بنـدی زمین‌لغزش در یک منطقه، ابتدا باید میزان تأثیر هر یک از عوامل را در وقـوع آن تعیـین کـرد. در رسـیدن بـه ایـن هـدف محدودیت‌هایی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها کیفی بودن عوامل مؤثر است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۰). ارزیابی خطر ناپایداری شیب‌ها و دیگر رخدادهای طبیعی بر اساس روش‌ها و مدل‌های مختلف مبتنی بر منطق‌های دو ارزشی بـه دلیـل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف‌پذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نیست. از جمله روش‌هـایی کـه در بررسـی عوامـل مـؤثر در زمین‌لغزش و یا پهنه‌بندی آن در حوضه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش آماری دو متغیرهٔ تراکم سطح است. این روش که ابتدا توسط ون وستن[3] در ۱۹۹۳ و ۱۹۹۷ مورد استفاده قرار گرفته، بر پایه تأثیر متقابـل هـر عامـل یـا متغیّـر تأثیرگذار بر وقوع لغزش (به عنوان متغیّر مستقل) با پدیده لغزش (به عنوان متغیّر وابسته) به طور مستقل بنا نهاده شده است (علایی طالقانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۹). همچنین می‌توان به استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی در حوضه زاب مرکـزی برای تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش توسط شهابی[4] و همکاران در سال ۲۰۱۲، پهنه‌بندی خطر زمـین‌لغـزش در حوضـه شیرین‌رود ساری با روش‌هایی از جمله روش ارزش اطلاعاتی و شاخص هـم‌پوشـانی در سـال ۸۳ توسـط فـیض‌نیـا و همکاران، استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسـط احمـدی و همکـاران در سـال ۸۲ اشاره کرد. خالدی و همکاران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محـیط Arc GIS بـه شناسـایی عوامـل مـؤثر در رویداد زمین‌لغزش و پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد در حوضه آبخیز طالقان پرداخته‌اند (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ٦٧). همچنین در تحقیق دیگری با استفاده از توابع حلقوی، چندجمله‌ای، شعاعی و خطی در الگوریتم SVM و معیارهای موثر در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش شامل فاصله از گسل و شبکه زهکشی، لیتولوژی، شیب (مقدار، زاویه) و سـطح ارتفاعی، ارزیابی قابلیت وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز درکه در شمال شهر تهران مورد بررسی قرارگرفته است (یمانی و همکاران،۱۳۹۱) کماک[5] در سال ۲۰۰٦ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش فرآینـد تحلیـل سلسـله مراتبی و روش آماری چند متغیره تهیه کرد. ژانگ فانیولیو[6] در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی برای منطقـه لانگنن در چین نقشه حساسیت زمین‌لغزش را تهیه کرد. استفاده از سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، فاکتور وزنـی و

1 Chank & Fabri
2 Hoon chi
3 Vanwasten
4 Shahabi
5 Komac
6 Zhang fanyu liu

شاخص آماری توسط یلسین در حوضه آردیس ترکیه برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش از دیگـر کارهـای صـورت گرفته در این زمینه است (گرایی و کریمی، ۱۳۸۹: ۱۰۵). در این پژوهش پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعـه از طریق وزن‌دهی به معیارهای اصلی با استفاده از دو مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم‌افزار Arc GIS انجـام شـد و در نهایت با مقایسه نقشه‌های نهایی، مدل ایده‌ال برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه انتخاب گردید.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده جاده ارتباطی مریوان–سنندج با طول ۱۳۵ کیلومتر در استان کردستان و غرب ایران و با وسعت ۱۲۸۱ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی ˝۲٦ ´۰۷ °٤٦ تا ˝۳٦ ´۳٦ °٤٦ طول شـرقی و˝۱۱ ´۲۳ °۳۵ تـا ˝۵٦ ´۳۲ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در مرز زون سنندج –سیرجان و زاگرس مرتفع قرارگرفته و بر تراست زاگرس منطبق است. با استناد به آمارهای سازمان هواشناسی مقدار متوسط بارندگی منطقه در محدوده شهرستان مریوان طی یک میانگین ۱۰ ساله (سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۷۹) برابر با ۸۵۰ میلی‌متر در سال بوده است. البته قسمتی از جاده که در محدوده شهرستان سنندج قرار دارد طی همین دوره به میزان ۳۵۱ میلی‌متر بارندگی داشته است.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

معیارها و روش‌های وزن‌دهی

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، مهمترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است (حسین‌زاده و همکـاران، ۱۳۸۸: ۲۸). در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، معیارهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصـله از گسـل،

واحدهای سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، خاک و بارش مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه معیارهای مذکور از طریق نقشه‌های زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای ETM جمع‌آوری و در محیط GIS آماده شد. وزن‌دهی به معیارهـای مـورد نظـر از طریـق دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 انجام شد. بـا توجـه بـه ایـن کـه پهنـه‌بنـدی از طریـق روش‌های مذکور، بر مبنای تطبیق نقشه زمین‌لغزش‌های حادث شده در منطقه با نقشـه معیارهـای مـؤثر در زمـین‌لغـزش صورت می‌گیرد، لایه پراکنش نقاط لغزش یافته در محدوده مطالعاتی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیـه شد. از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم برروی عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای قابل شناسایی نبودند، برای تدقین اطلاعات، منطقه مورد بازدید صحرایی قرار گرفت. سپس این لایه با استفاده از تصاویر مـاهواره‌ای و نـرم‌افـزار Google Earth به نقشه پهنه‌های لغزشی تبدیل شد. تلفیق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با معیارهای مورد نظر، تعـداد پیکسـل‌هـای لغزش‌یافته در هر طبقه از لایه‌های عاملی را به دست می‌دهد. در مدل نسبت فراوانی، وزن هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط از رابطه FR=A/B محاسبه می‌شود. در این رابطه FR نسبت فراوانی، A درصد پیکسل‌های لغزشـی و B درصـد پیکسل‌های فاقد لغزش است. دومین روش برای تعیین اوزان معیارهای مورد نظـر، اسـتفاده از توابـع عضـویت فـازی در نرم‌افزار Arc GIS 10 است. در این روش برای فازی‌سازی معیارها، از توابع عضویت فازی (جدول شـماره ۱) اسـتفاده شده است. استفاده و اعمال هرکدام از این توابع با توجه به دو پارامتر نقطه میانی و پارامتر پخش صورت می‌گیرد. انتخـاب تابع برای فازی‌سازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطه هرکدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود. چون استفاده از مـدل منطق فازی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) است، باید هر پیکسل در هر معیار با توجه بـه تابع ایده‌ال، ارزش عضویتی از صفر تا یک را به خود بگیرد.

جدول۱ توابع عضویت فازی

Gaussian	تابع عضویت را بر اساس توزیع نرمال و یا گوسی بر اساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی ۱ است).
Large	این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰/۵ است).
Linear	این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.
Ms Large	این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.
Ms Small	این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.
Near	این تابع، تابع عضویت را بر اساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر مشخص می‌کند (نقطه میانی عضویت یک می‌گیرد).
Small	این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی ۰.۵ است).

مأخذ: نرم‌افزار Arc GIS 10

فازی‌سازی و پهنه‌بندی

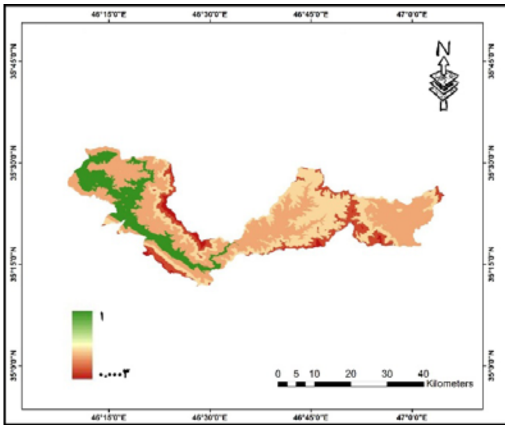
با استفاده از رابطه نسبت فراوانی طبقات معیارها فازی‌سازی (بین صفر و یک) شدند و با استفاده از این وزن‌هـا، نقشه رستری هر معیار به صورت فازی تهیه شد (شکل‌های ۲ تا ۱۱). در جـدول شـماره ۲ مقـادیر عضـویت فـازی مربوط به معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش از طریق روش نسبت فراوانی محاسبه شده است. این مقادیر برای تهیه نقشه‌های فازی هر معیار مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲ مقادیر عضویت فازی معیارهای موثر در وقوع زمین‌لغزش (با روش نسبت فراوانی) در منطقه مورد مطالعه

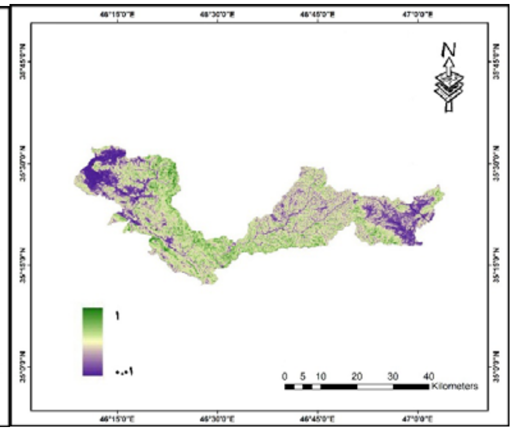
معیار ارتفاع				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
١	٢.٦١	١٥.٦٩	٤٠.٩٣	١٠٤٩–١٣٥٠
٠.٣	٠.٧٦	٤٤.٦١	٣٣.٨٤	١٣٥٠–١٧٥٠
٠.٤	٠.٨٩	٢٧.٢٧	٢٤.٣٨	١٧٥٠–٢٠٥٠
٠.٠٠١	٠.٠٨	١٠.٥٢	٠.٨٦	٢٠٥٠–٢٣٥٠
٠.٠٢	٠.٠٠	١.٨٢	٠.٠٠	٢٣٥٠–٢٧٥٠
٠.٠٠٠٤	٠.٠٠	٠.٠٩	٠.٠٠	٢٧٥٠–٢٩٠٢
معیار شیب				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
٠	٠.٠٢	٦.٧٠	٠.١٢	٠–٥
٠.١	٠.٣١	١٩.٨٦	٦.٢٤	٥–١٥
٠.٤	١.٠٢	٣٠.٥٤	٣١.٠٠	١٥–٣٠
٠.٤	١.٢٩	٢٩.١٥	٣٧.٥٩	٣٠–٥٠
٠.٥	١.٥٧	١١.١٤	١٧.٥٢	٥٠–٧٠
١	٢.٨٨	٢.٦١	٧.٥٤	>٧٠
معیار جهت شیب				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
١	١.٢٠	١٣.٥١	١٦.١٩	شمال
٠.٩	١.٠٩	١٢.٩٣	١٤.١٠	شمال شرقی
٠.٨	٠.٩٧	١١.٢٧	١٠.٨٧	شرق
٠.٧	٠.٨٦	١٢.٠١	١٠.٢٨	جنوب شرقی
٠.٩	١.٠٧	١٤.٠٩	١٥.٠١	جنوب
٠.٨	١	١٢.٨٢	١٢.٨٣	جنوب غربی
٠.٧	٠.٨٧	١١.٣٢	٩.٩٠	غرب
٠.٧	٠.٩٠	١٢.٠٥	١٠.٨٢	شمال غربی
معیار واحدهای سنگ شناسی				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
٠.٠٠١	٠.٠٠	٢٢.٠٢	٠.٠٠	Kfsh
٠.٠٠٢	٠.٠٠	١٠.٢٨1	٠.٠٠	Kussh
٠.٠٠١١	٠.٠٠	٢.٠٤	٠.٠٠	K2av
٠.٠٠٣	٠.٠٠	٧.٥٩	٠.٠٠	Qft1
٠.٠٠٢	٠.٠٠	٠.٣٧	٠.٠٠	Qal
٠.١٢	٠.٠٠	٠.٧٤	٠.٠٠	Qft2

Klsm	٦.٧١	۲.٥١	۲.٦٨	۰.۱۳
KPef	۰.۰۰	۱۱.۰۷	۰.۰۰	۰.۰۰٥
TRKubl	۱۹.۲۷	٦.۲۰	۳.۱۱	۰.۱٦
Murm	۱۷.٦۷	۱.٤۳	۱۲.۳۸	۰.٦۲
Oat	۰.۰۰	۰.۰۸	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
PeEf	۱۲.٦۲	۱۹.۹۱	۰.٦۳	۰.۰۳
Odi-gb	۰.۰۰	۷.۷٤	۰.۰۰	۰.۰۰۱
Pd	۰.۰۰	۰.۹۱	۰.۰۰	۰.۰۰۳
K1m	۰.۰۰	۰.۰٤	۰.۰۰	۰.۰۰٦
Kupl	۰.۰۰	۳۸٤	۰.۰۰	۰.۰۰٥
Pel	۰.۰۰	۱.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰۳
Klsol	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰۰٥
Olc,s	۲۹.٥٥	۱.٤۸	۱۹.۹۰	۱
OMql	۱٤.۱۸	۰.۷۱	۱۹۸٥	۱
معیار فاصله از گسل				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰–۱۰۰	۱۰.٦۱	٦.۷۸	۱.٥٦	۱
۱۰۰–۲۰۰	۸.۱٦	٥.۹۷	۱.۳۷	۰.۹
۲۰۰–۳۰۰	۷.٥٤	٦.۳۷	۱.۱۸	۰.۸
۳۰۰–٤۰۰	٤.۲۳	٥.۱۰	۰.۸۳	۰.٥
٤۰۰–٥۰۰	٦۹.٤۷	۷٥.۷۸	۰.۹۲	۰.٦
معیار کاربری اراضی				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۱	۰.۰۰	۷.۱۸	۰.۰۰۱۰	۰.۰۰۱
۲	۰.۰۰	۹.٦۹	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۳	۱۲.۰۹	۱٤.۲۰1	۰.۸٥۱۱	۰.۳
٤	۳٤.۸٤	۱۱.۲۹	۳.۰۸٥۳	۱
٥	۰.۰۰	٥.۰۹	۰.۰۰	۰.۰۳
٦	۰.۰۰	۰.۱٥	۰.۰۰	۰.۰۰۰٦
۷	٤۸.۹۷	۱۷.۸۳	۲.۷٤٥۷	۰.۹
۸	۰.۰۰	۱.۷۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰۰۱
۹	۰.۰۰	۰.۳۹	۰.۰۰	۰.۰۰۱
۱۰	۰.۰۰	۱۲.٥۷	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۱۱	٤.۱۱	۳.٥۹	۱.۱٤٤۸	۰.٤
۱۲	۰.۰۰	۰.۹۰	۰.۰۰	۰.۰۰۱
۱۳	۰.۰۰	٥۸۹	۰.۰۰	۰.۰۰۲
۱٤	۰.۰۰	۹.۱۸	۰.۰۰	۰.۰۰۳
۱٥	۰.۰۰	۰.۳٥	۰.۰۰	۰.۰۰۰۱
معیار فاصله از آبراهه				
کلاس	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	نسبت فراوانی	عضویت فازی
۰–۱۰۰	٥.۳٥	۱۰.٦۸	۰.٥۰	۰.٤
۱۰۰–۲۰۰	۹.۲۲	۹.۰٤	۱.۰۲	۰.۹
۲۰۰–۳۰۰	۹.۹۰	۹.٦۸	۱.۰۲	۰.۹
۳۰۰–٤۰۰	۹.۳۱	۸.۰٥	۱.۱٦	۱

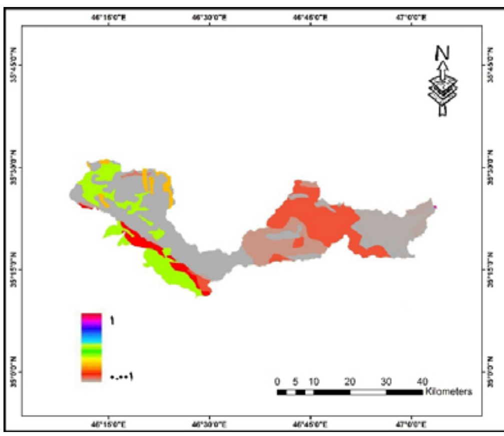
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
٠.٩	١.٠٦	٦٢.٥٥	٦٦.٢٢	> ٤٠٠
معیار فاصله از جاده				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
١	١.٥٠	٥.٩٠	٨.٨٤	٠–١٠٠
٠.٧	١	٤.٨٩	٤.٩١	١٠٠–٢٠٠
٠.٣	٠.٥٠	٥.٠٧	٢.٥١	٢٠٠–٣٠٠
٠.٣	٠.٣٩	٤.١٧	١.٦٣	٣٠٠–٤٠٠
٠.٢	٠.٢٣	٤.٣٣	٠.٩٨	٤٠٠–٥٠٠
٠.١	١.٠٧	٧٥.٦٤	٨١.١٥	>٥٠٠
معیار پوشش گیاهی				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
٠.٢	٠.٩٤	٦٤.٧٨	٦٠.٧٣	١
٠.٠٠٢	٠.٠٠	٢١.٤٨	٠.٠٠	٢
٠.٠٠٠١	٠.٠٠	١.٤٥	٠.٠٠	٣
١	٥.١٠	٧.٧١	٣٩.٢٧	٤
٠.٠٠٠٠٤	٠.٠٠	٤.٥٨	٠.٠٠	٥
معیار خاک				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	کلاس
٠.٠١	٠.٠٠	١.١٦	٠.٠٠	١
٠.٠٠٤٣	٠.٣٤	٨.٤٨	٢.٩٠	٢
٠.٠٠٢	٠.٠٠	٠.٢٧	٠.٠٠	٣
٠.٠٠٠١	٠.٠٠	٠.٩٩	٠.٠٠	٤
٠.٠٠٥	٠.٠٠	١.٦٨	٠.٠٠	٥
٠.٠٠٠٠١	٠.٠٠	٠.٢٩	٠.٠٠	٦
٠.٠٠٠٠٠١	٠.٠٠	١.٦٢	٠.٠٠	٧
٠.٠٠٣	٠.٠٠	٠.٥٧	٠.٠٠	٨
٠.٠٠٤	٠.٠٠	٣.٥٩	٠.٠٠	٩
٠.٠٠٥	٠.٠٠	٥.٦٤	٠.٠٠	١٠
٠.٠٠٦	٠.٠٠	٠.٩٢	٠.٠٠	١١
٠.٠٠٠٢	٠.٠٠	٢.١٠	٠.٠٠	١٢
٠.٠٠٠٣	٠.٠٠	٠.٤٣	٠.٠٠	١٣
٠.٠٠٠٢	٠.٠٠	٣.٦٥	٠.٠٠	١٤
١	٧٨.٦٦	٠.٢٣	١٨.٤١	١٥
٠.٠١٤	١.١٤	٥٧.٥٥	٦٥.٤٣	١٦
٠.٠١٥	١.٢٢	١٠.٨٤	١٣.٢٧	١٧
معیار بارش				
عضویت فازی	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های دارای لغزش	طبقات بارش
٠.٩٩	١.٥١	٣٦.٢٠	٥٤.٧٩	٢٦–٤١
١	١.٥٣	٢٩.٦٢	٤٥.٢١	٤١–٥٧
٠.٠٠٢	٠.٠٠	٣٣.٦٩	٠.٠٠	٥٧–٧٢
٠.٠٠٠١	٠.٠٠	٠.٤٩	٠.٠٠	٧٢–٨٧



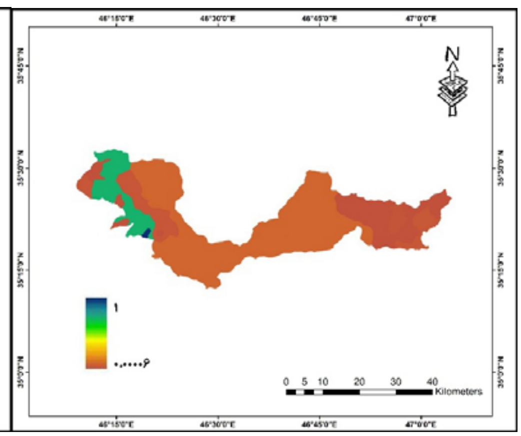
شکل۲ نقشه فازی ارتفاع



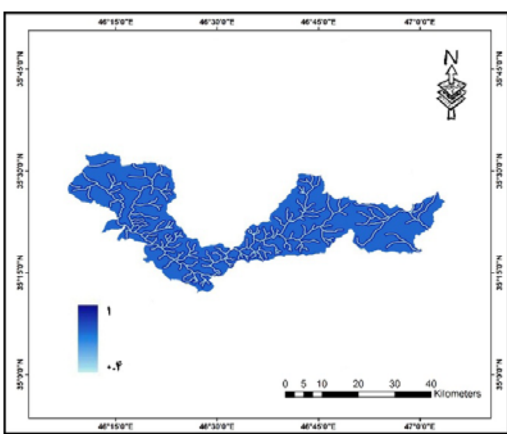
شکل۳ نقشه فازی شیب



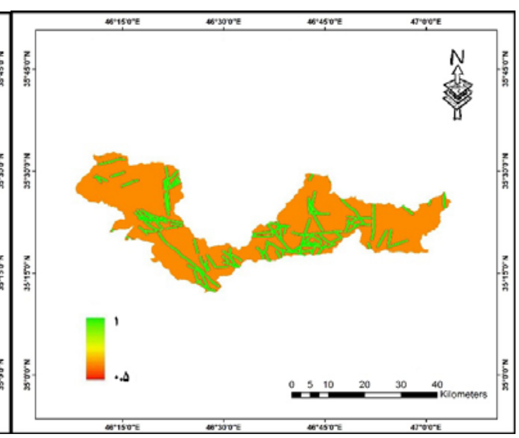
شکل٤ نقشه فازی سنگ شناسی



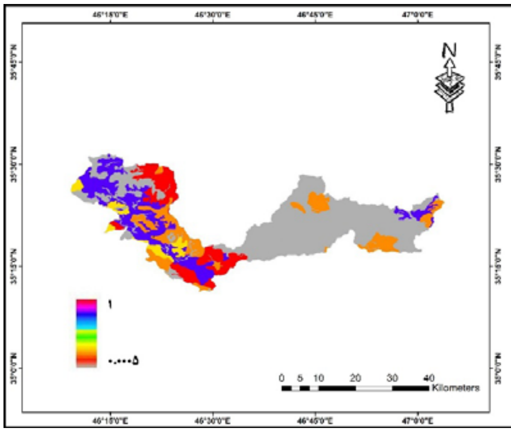
شکل۵ نقشه فازی خاک



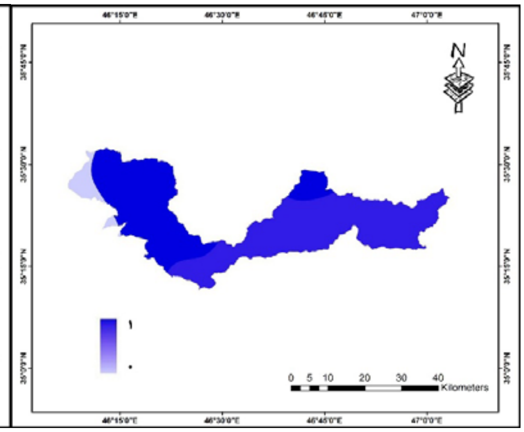
شکل٦ نقشه فازی فاصله از شبکه آبراهه



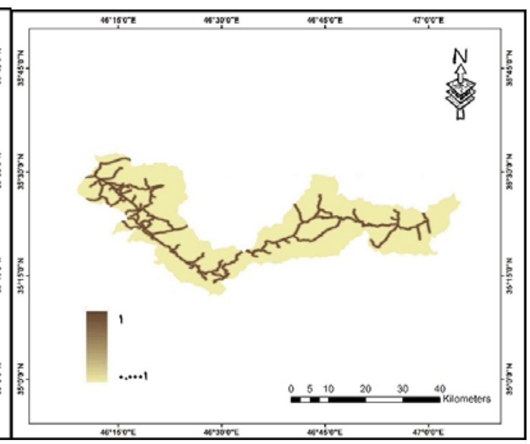
شکل۷ نقشه فازی فاصله از گسل



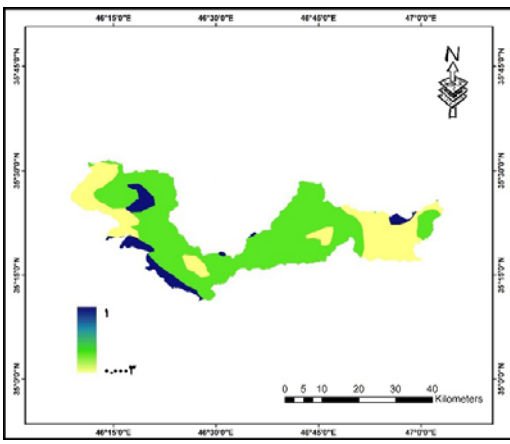
شکل۸ نقشه فازی کاربری اراضی



شکل۹ نقشه فازی بارش

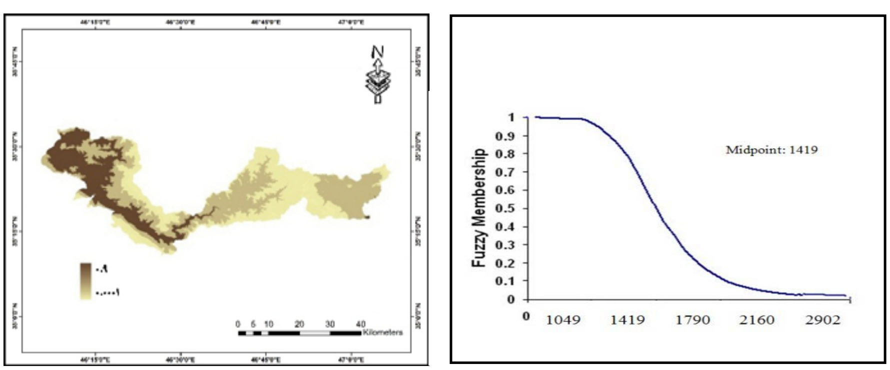


شکل۱۰ نقشه فازی فاصله از جاده

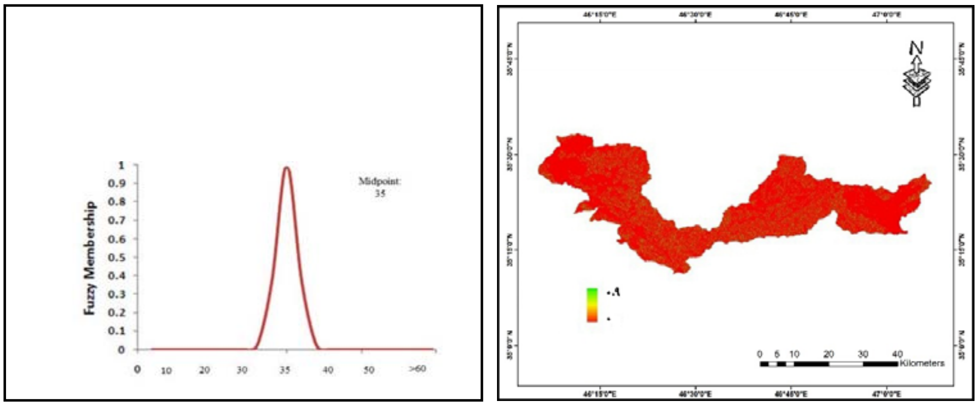


شکل۱۱ نقشه فازی پوشش گیاهی

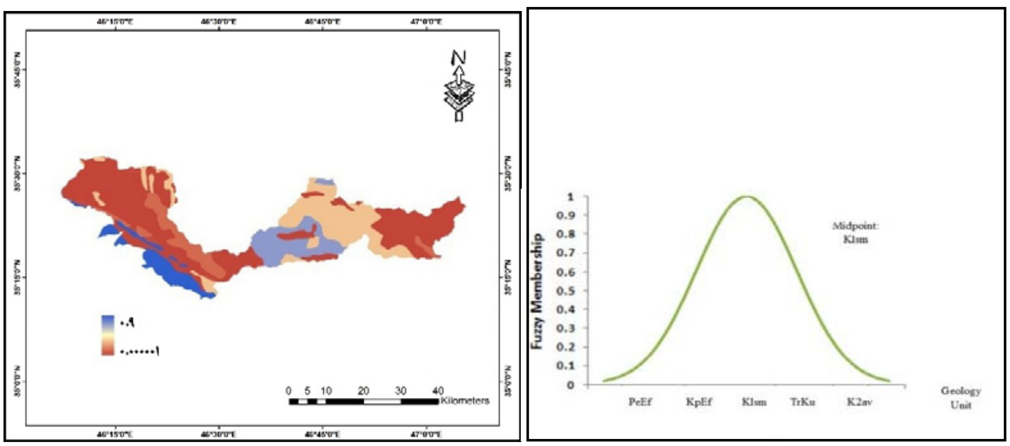
در مرحله بعد فازی‌سازی لایه‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی در نـرم‌افـزار Arc GIS 10 و بـا اسـتفاده از دستور Fuzzy Membership انجام شد و به این صورت نقشه رستری هر معیار به صـورت فـازی تهیـه گردیـد (شکل‌های ۱۲ تا ۲۱).



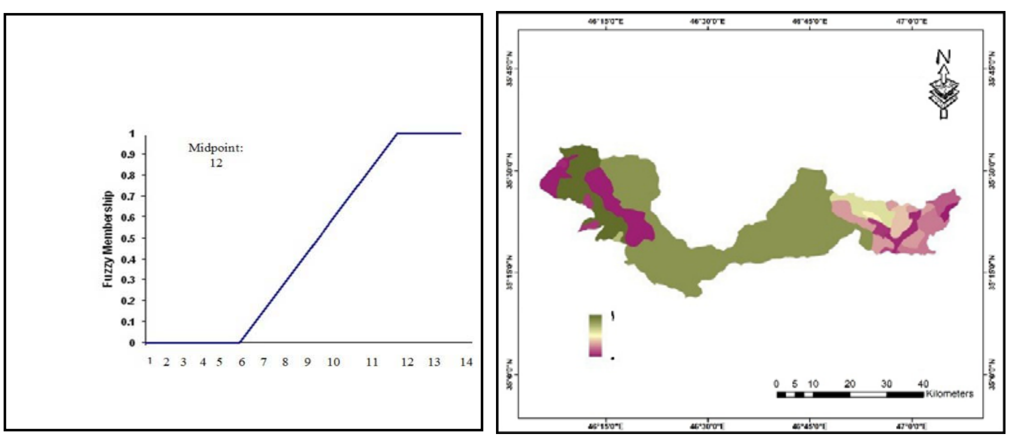
شکل۱۲ نقشه و تابع فازی ارتفاع



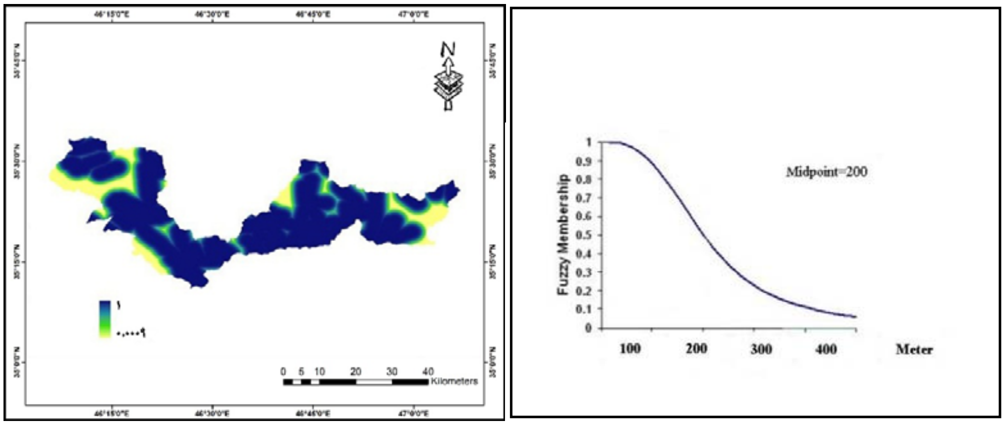
شکل۱۳ نقشه و تابع فازی شیب



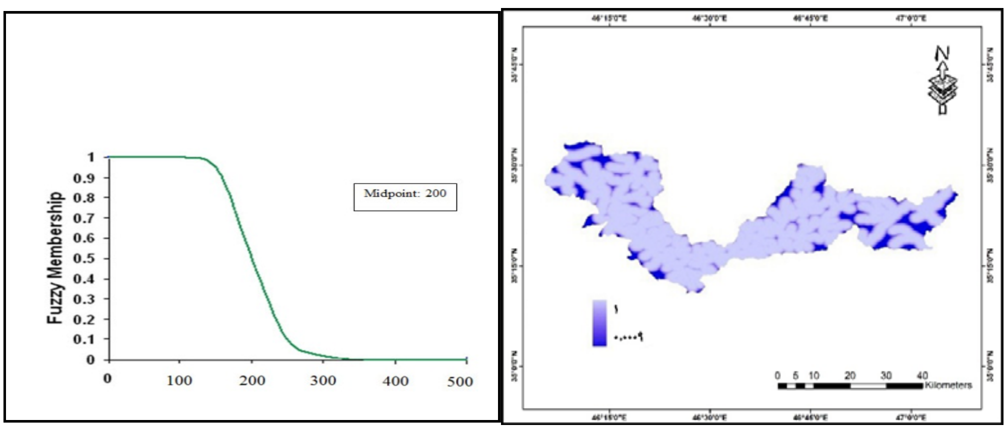
شکل۱٤ نقشه و تابع فازی سنگ شناسی



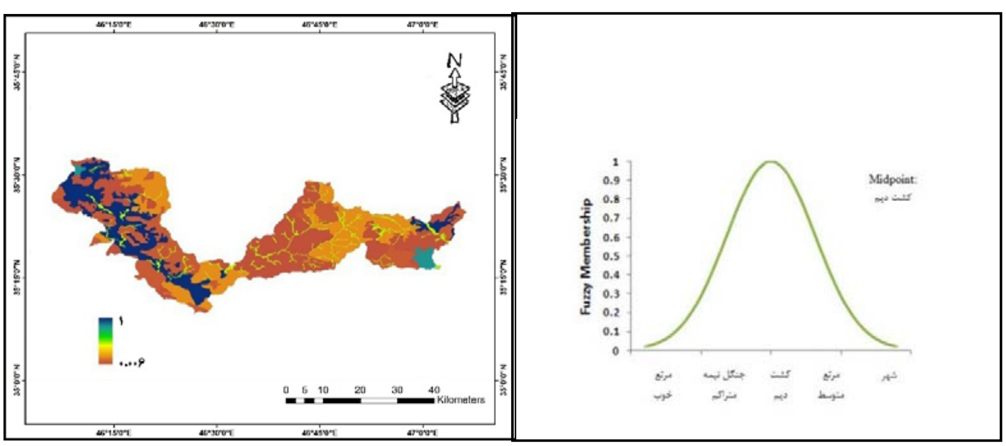
شکل۱۵ نقشه و تابع فازی خاک



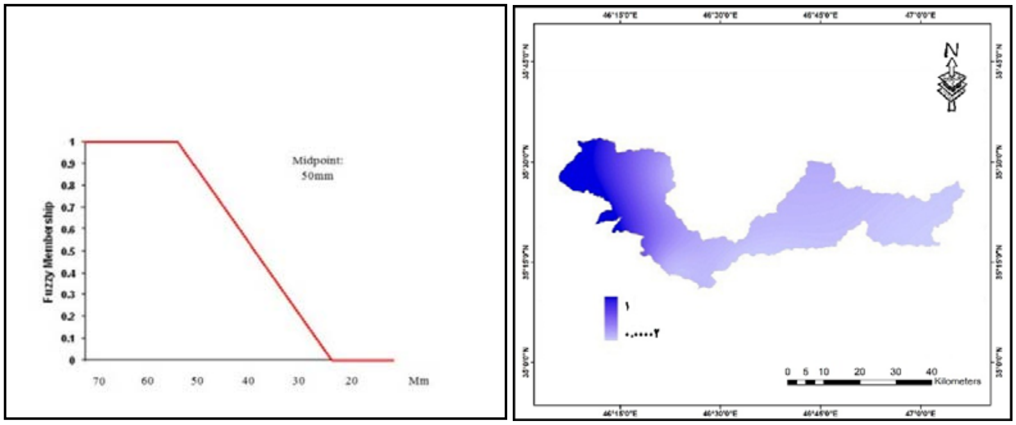
شکل۱۶ نقشه و تابع فازی فاصله از گسل



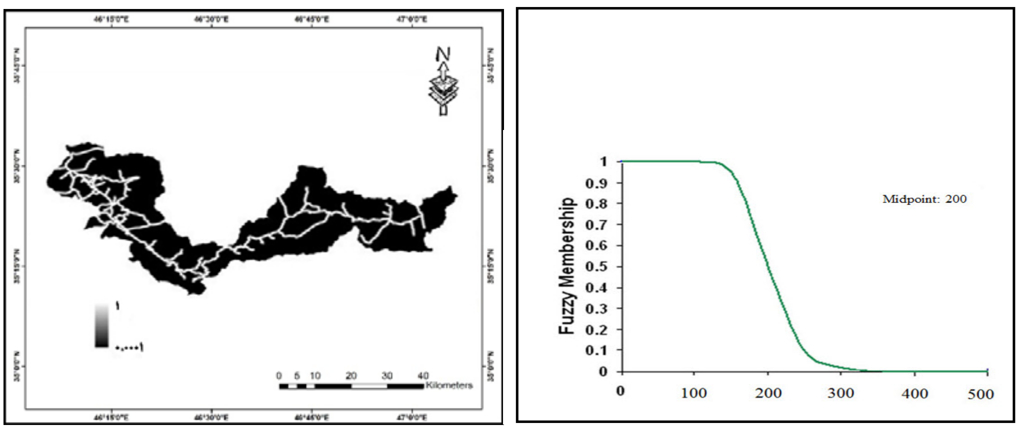
شکل۱۷ نقشه و تابع فازی فاصله از آبراهه



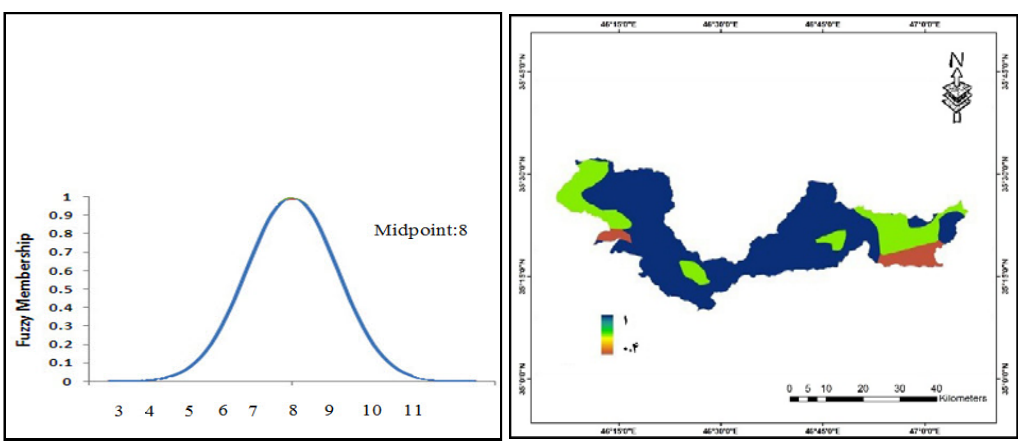
شکل۱۸ نقشه و تابع فازی کاربری اراضی



شکل۱۹ نقشه و تابع فازی بارش

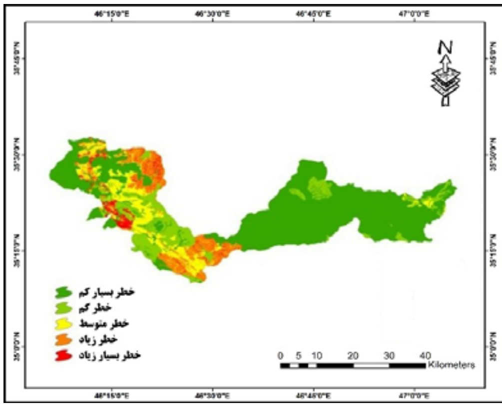


شکل۲۰ نقشه و تابع فازی فاصله از جاده

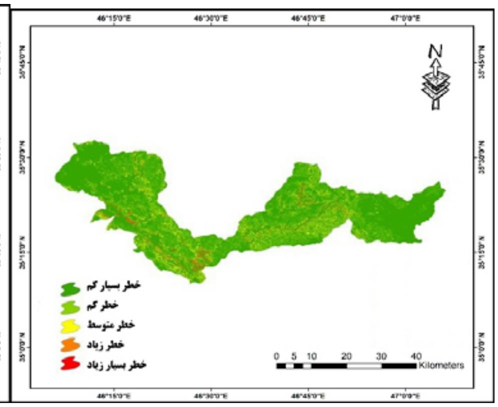


شکل۲۱ نقشه و تابع فازی پوشش گیاهی

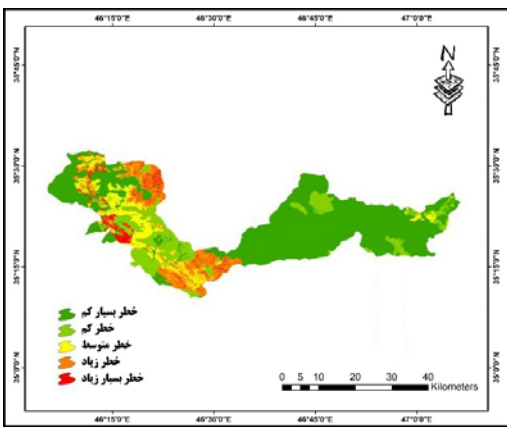
بعد از مرحله فازی‌سازی معیارهای مؤثر با استفاده از مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم‌افزار Arc GIS 10، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (شکل‌های ۲۲ تا ۲۷) از طریق عملگرهای گامای فازی با لانداهای ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹ تهیه شد. مساحت و درصد هر یک از طبقات خطر نیز برای دو روش مذکور در جدول شماره ۳ محاسبه شده است.



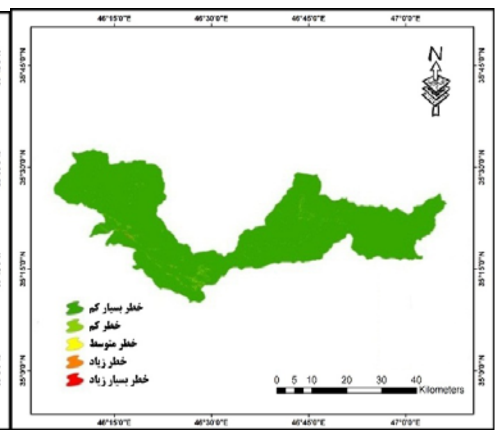
شکل۲۲ نقشه گامای ۰.۷ با روش نسبت **فراوانی**



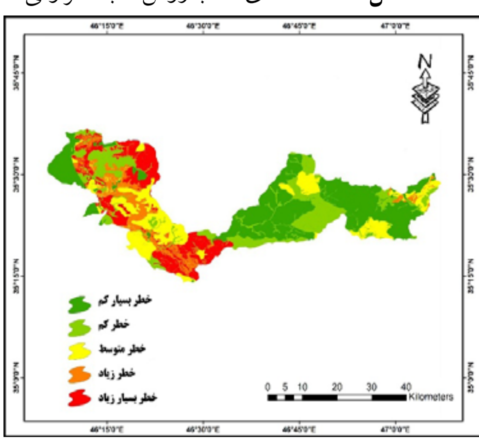
شکل۲۳ نقشه گامای ۰.۷ با روش توابع فازی



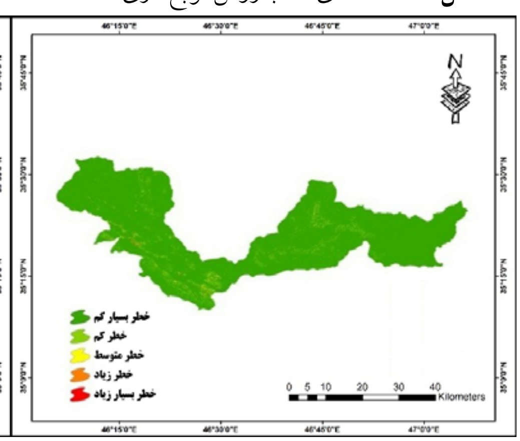
شکل۲٤ نقشه گامای ۰.۸ با روش نسبت فراوانی



شکل۲۵ نقشه گامای ۰.۸ با روش توابع فازی



شکل۲٦ نقشه گامای ۰.۹ با روش نسبت **فراوانی**



شکل۲۷ نقشه گامای ۰.۹ با روش توابع فازی

جدول۳ مساحت و درصد طبقات خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

روش	عملگر	طبقات خطر	مساحت هر طبقه (KM^2)	مساحت هر طبقه (درصد)
نسبت فراوانی	گامای ۰.۷	خطر خیلی کم	۷٤٦.۷۷	۵۸.۷۵
		خطر کم	۱۹۸.۵۸	۱۵.٦۲
		خطر متوسط	۱۲۹.٤۳	۱۰.۱۸
		خطر زیاد	۱٦۰.٦۳	۱۲.٦٤
		خطر بسیار زیاد	۳۵.٦۰	۲.۸۰
	گامای ۰.۸	خطر خیلی کم	۷٦۹.۹۹	٦۰.۵۸
		خطر کم	۱۸۳.۰۷	۱٤.٤۰
		خطر متوسط	۱۳٤.٤۱	۱۰.۵۸
		خطر زیاد	۱۵۱.٤٤	۱۱.۹۲
		خطر بسیار زیاد	۳۲.۱۰	۲.۵۳
	گامای ۰.۹	خطر خیلی کم	٤۵۸.۹۱	۳٦.۱۱
		خطر کم	۲٦۲.۱۱	۲۰.٦۲
		خطر متوسط	۲۲۰.۵۷	۱۷.۳۵
		خطر زیاد	۱٤۰.۱۹	۱۱.۰۳
		خطر بسیار زیاد	۱۸۹.۲۲	۱٤.۸۹
فازی	گامای ۰.۷	خطر خیلی کم	۱۲٦۲.۹۰	۹۹.۳٦
		خطر کم	۵.۸۰	۰.٤٦
		خطر متوسط	۱.۵۳	۰.۱۲
		خطر زیاد	۰.٦۳	۰.۰۵
		خطر بسیار زیاد	۰.۱۹	۰.۰۲
	گامای ۰.۸	خطر خیلی کم	۱۲۳۳.۹۵	۹۷.۰۸
		خطر کم	۲۹.۵٤	۲.۳۲
		خطر متوسط	۵.٦۲	۰.٤٤
		خطر زیاد	۱.۵۹	۰.۱۳
		خطر بسیار زیاد	۰.۳٤	۰.۰۳
	گامای ۰.۹	خطر خیلی کم	۱۰۰۳.٤۲	۷۸.۹۵
		خطر کم	۱٦۲.۱۰	۱۲.۷٦
		خطر متوسط	۷۹.۳٦	٦.۲٤
		خطر زیاد	۲۰.۷۲	۱.٦۳
		خطر بسیار زیاد	۵.۲۷	۰.٤۱

مأخذ: محاسبات نویسندگان

بحث و نتایج

نتایج بررسی طبقات معیارهای مورد بررسی در روش نسبت فراوانی (جدول شماره ۲) نشان داد که در معیار شیب، لغزش‌ها در طبقات شیب‌های بیشتر از ۷۰ درصد رخ داده است. شیب‌های بین ۵۰ تا۷۰ درصد در درجه دوم اهمیت قرار دارند. وضعیت شیب بدین علت حائز اهمیت است که سازوکار بسیاری از حرکت‌های دامنه‌ای در اثر این عامل رخ می‌دهد.

تحلیل تقاطع لغزش‌ها با جهات مختلف شیب نشان داد که زمین‌لغزش‌ها تقریباً در تمامی جهات شیب رخ داده‌اند؛ ولی از میان جهات شیب بیشترین لغزش‌های اتفاق افتاده در جهات شیب شمال و شمال شرقی منطقه بوده است.

انطباق نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه طبقات ارتفاعی نشان داد که بیشترین لغزش‌های رخ داده در طبقات ارتفاعی بین ۱۳۵۰ تا ۱۰۴۹ متر به وقوع پیوسته و با افزایش ارتفاع از میزان حساسیت زمین‌لغزش کاسته شده است. دلیل این موضوع را می‌توان به لیتولوژی مقاوم‌تر این محدوده‌ها نسبت داد.

تحلیل شرایط لیتولوژیکی محدوده مورد مطالعه نشان داد که کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک بیشترین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

بررسی کاربری اراضی منطقه نیز نشان داد که بیشترین لغزش‌ها در دو کاربری باغ و مرتع اتفاق افتاده است که دلیل آن را می‌توان به نقش انسان در اکوسیستم‌های منطقه و تخریب‌هایی که به واسطه تغییر این کاربری‌ها اعمال کرده، نسبت داد.

در عامل خاک‌شناسی، خاک‌های کم‌عمق همراه با رخنمون سنگی، بیشترین فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌ها را دارند. علت آن نفوذ آب و رطوبت از لایه‌های نه چندان ضخیم خاک‌های سست ناپیوسته فوقانی و وجود شیب زیاد دامنه‌های این نوع خاک است که شرایط لغزش را تشدید می‌کند.

نسبت فراوانی لغزش‌ها در طبقات معیار پوشش گیاهی به صورتی است که کلاس نوع اراضی آبی کشاورزی بیشترین نسبت و در نتیجه بالاترین وزن فازی را به خود اختصاص داده است. این نوع پوشش گیاهی باعث کندشدن سرعت جریان هرز آب‌ها در سطح دامنه‌ها شده و در نتیجه این عمل آب در سطح، فرصت بیشتری برای نفوذ به عمق دارد و لذا این نوع پوشش گیاهی در تشدید پدیده لغزش نقش مهمی را ایفا می‌کند.

در معیار فاصله از جاده ارتباطی نیز فاصله ۱۰۰ متری از جاده بیشترین لغزش‌ها را داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که دامنه‌های مشرف به جاده که کمترین فاصله را با جاده دارند، ناپایداری بیشتری نسبت به دیگر طبقات فاصله از جاده دارند.

تحلیل پیکسل‌های لغزشی در ارتباط با گسل‌ها نشان می‌دهد که هرچه فاصله از گسل‌ها کمتر می‌شود، ناپایداری بیشتر است. در این منطقه به دلیل انطباق بیشتر مسیر جاده بر تراست زاگرس و فاصله کم گسل‌ها تا جاده ارتباطی بیشترین وزن فازی را کلاس ۱۰۰ متری فاصله از گسل نشان می‌دهد که عامل تشدیدکننده ناپایداری دامنه‌های مشرف به جاده است.

جدول شماره ۲ همچنین نشان می‌دهد که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در فاصله بین ۳۰۰ تا ٤۰۰ متری از شبکه آبراهه‌ای و در طبقات بارشی ٢٦ تا ٥٧ میلی‌متر به وقوع پیوسته‌اند.

نتیجه حاصله از انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد و بسته به تعداد رده‌های خطر در منطقه با عباراتی نظیر خطر خیلی‌کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد معرفی می‌شود. نقشه‌های خطر تهیه شده از طریق اپراتور فازی گاما در منطقه مورد مطالعه مبنای مقایسه دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی است؛ لذا به جهت متفاوت بودن روش‌های فازی‌سازی و تهیه نقشه خطر نهایی، این مقایسه برای فازی‌سازی معیارها و همچنین پهنه‌بندی خطر در دو روش مذکور به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقایسه فازی‌سازی معیارهای مؤثر در مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی نرم‌افزار Arc GIS 10

فازی‌سازی با استفاده از توابع فازی برای هر معیار نشان داد که انتخاب یک تابع به منظور فازی‌سازی باید با توجه به هدف (پهنه‌بندی زمین‌لغزش)، ماهیت معیار در منطقه مورد مطالعه و رابطه معیار با هدف موردنظر صورت گیرد. به عنوان مثال در این پژوهش برای فازی‌سازی معیار گسل، چون فاصله از گسل حائز اهمیت بود و کمترین فاصله، بیشترین امتیاز را داشت از تابع Small استفاده شد. طبق جدول شماره ۱ این تابع زمانی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک ورودی، بالاترین عضویت فازی را می‌گیرد؛ لذا با توجه به هدف پژوهش که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است، رابطه معیار گسل را می‌توان این چنین تعریف کرد که هرچه فاصله از گسل کمتر باشد، ناپایداری بیشتر و در نتیجه خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود. فازی‌سازی سایر معیارها نیز بر همین مبنا صورت گرفته است. همچنین این مطالعه نشان داد که فازی‌سازی با استفاده از مدل نسبت فراوانی در این‌گونه پهنه‌بندی‌ها از دقت بیشتری برخوردار است. دلیل این امر را می‌توان به تطابق هر معیار با نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های منطقه در هنگام وزن‌دهی نسبت داد، به طوری که در هر طبقه از معیار تعداد پیکسل‌های لغزشی و یا فاقد لغزشی مشخص و از رابطه مربوطه عضویت فازی هر طبقه استخراج می‌شود.

مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در مدل نسبت فراوانی و توابع فازی نرم‌افزار Arc GIS 10

نقشه‌های فازی شده با عملگرهای مختلف گامای فازی هم‌پوشانی شده و نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه با دو روش مورد نظر تهیه شد (شکل‌های ٢٤ تا ٢٩). در این نقشه‌ها مدلی بهینه انتخاب شد که درصد بیشتری از فرآیند لغزشی در آن اتفاق افتاده باشد. همان طور که در جدول شماره ۳ مشخص است، طبقه خطر بسیار زیاد در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با روش نسبت فراوانی با گاماهای ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹ به ترتیب ۲.۸۰، 2.53 و ١٤.٨٩ درصد را به خود اختصاص داده است که نسبت به درصد طبقه خطر بسیار زیاد با روش توابع فازی درصد بالاتری را نشان می‌دهد. در سایر طبقات خطر نیز در مجموع درصد خطر با روش نسبت فراوانی بیشتر است.

نتیجه‌گیری

محور ارتباطی مریوان- سنندج در استان کردستان به طول ۱۳۵ کیلومتر به دلیل موقعیت جغرافیایی و به واسطه نقش حیاتی در ترانزیت بین‌المللی و به ویژه دسترسی به بازارهای غرب کشور یکی از پرترددترین محورهای ارتباطی ایران است. ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی و شرایط نامناسب فیزیکی جاده نشان می‌دهد که مسیر جاده به درستی و ناظر بر مخاطرات محیطی (دامنه ای) انتخاب نشده است. بخش اعظم جاده از نواحی خطرالقعر و به طور عمده روی رسوبات جدید آبرفتی با مقاومت بسیار پایین و حساسیت بسیار بالا عبور کرده و از نظر لیتولوژیکی هم بیشتر از سنگ های شیل، رس، مارن و شیست تشکیل شده و در محدوده کوهستانی به دلیل داشتن شیب زیاد دامنه‌ها و ارتفاع زیاد، دچار ناپایداری‌هایی شده است.

در این پژوهش وزن‌دهی به معیارهای مؤثر در وقوع حرکات لغزشی با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی با یکدیگر مقایسه شدند. عوامل توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت‌شیب)، زمین‌شناسی (واحدهای سنگ‌شناسی و گسل)، شبکه آبراهه، راه ارتباطی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و بارش به عنوان متغیرهای مستقل و پهنه‌های لغزشی به عنوان متغیر وابسته در این مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. تحلیل و ارزیابی نتایج نشان داد که فازی‌سازی با استفاده از روش نسبت فراوانی به دلیل تطابق هر نقشه عاملی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و محاسبه پیکسل‌های لغزش‌یافته و بدون لغزش می‌تواند از ارزش بیشتری برخوردار باشد.

از میان نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که با استفاده از نقشه‌های وزنی دو روش مذکور تهیه شده، نقشه پهنه‌بندی خطر با گامای ۰.۸ مدل نسبت فراوانی نیز به دلیل تطابق بیشتر با پهنه‌های لغزشی به وقوع پیوسته، از دقت بالاتری برخوردار است.

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر برای فرآیندهای لغزشی مستقیماً در ارتباط با روش فازی‌سازی بوده و انتخاب روش و یا مدل از اهمیت زیادی برخوردار است. از میان دو روش مورد بحث، استفاده از مدل نسبت فراوانی به دلیل فازی‌سازی مناسب هر معیار با استناد به نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌های رخ داده و نحوه تفکیک طبقات خطر، مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در محور ارتباطی مریوان- سنندج محسوب می‌شود.

References

Ahmadi, H., Esmali, A., Feiznia, S., Shariat jafari, M., 2004. Mass movement hazard zonation with two multiple regression (MR) and Analytical Hierarchy process (AHP) methods. (Case study: Germichay watershed). Iranian J. Natural Res. Vol 56, No 4, 323-336. (In Per.)

Alaiee Taleghani, M., Rahimzadeh, Z., Amini, A., 2011. Mass Zoning the Skirts Sensitivity to Instability (Slippage) at Javanrood Catchment Area by the Use of Two Variables Statistical Model of Surface Compaction. Geography and Development. No 22, 57-72. (In Per.)

Feiznia, S., Kalarstaghi, A., Ahmadi, H., Safaei, M., 2004. An Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Landslide Hazard Zonation (Case Study Shirin Rood Drainage Basin - Tajan Dam). Iranian J. Natural Res. Vol 57, No 1, 3-22. (In Per.)

Graee, P., Karimi, H., 2010. Determination of the best landslide susceptibility mapping method in the Ilam dam basin. Geographical Research. Vol 25, No 96, 101-127. (In Per.)

Hoon chi, K., Park, n., chung.ch.jo, 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from boeun, Korea, symposium on geospatial theory. Processing and applications. (In Eng.)

Hosseinzadeh, M., Servati, M. R., and Mansouri, A. 2009. Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model. IRAN Geology Quarterly, 3 (11): 27-37. (In Per.)

khaledi, S., derafshi, K., Mehrjunejad, A., gharachahi, S., khaledi, S. 2012. Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment (Case Study Taleghan Watershed). Journal of Geography and Environmental Hazards. No 1, 65-82. (In Per.)

Komac. M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. Geomorphology, No 24, 17-28. (In Eng.)

Moradi, H. R., Pourghasemi, H. R., Mohammdi, M., Mahdavifar, M. R., 2010. Landslide Hazard Zoning using Gamma Fuzzy Operator, with a Case Study of Haraz Watershed. Environmental Sciences. Vol 7, No 4, 129-142. (In Per.)

Shahabi, H., Khezri, S., Ahmad, B.B., Allahvirdiasi, H., 2012. Application of satellite images and fuzzy set theory in landside hazard mapping in central zab basin. IOSR Journal of applied physics, vol 1, 17-24. (In Eng.)

Van Westen, C. J., Rengers, N. Soaters, R. 1993. Geographic information systems applied to landslide hazard zonation. Mapping awareness and GIS in Europe.17. 5. (In Eng.)

Van Westen, C. J., Rengers, N. Terline, J. Soaters, R. 1997. Predication of the occurrence of slope instability phenomena through GIS -Based hazard zonation. Geologies ches Runds chall. 86. (In Eng.)

Yamani, M., Ahmadabadi, A., zare, R., 2012. Evaluation of Performance Artificial Intelligence Techniques in landslide study with an emphasis on SVM algorithm (Case Study: Darakeh Basin). Journal of Geography and Environmental Hazards. No 3. (In Per.)

Zhang F.L., 2007. Study on landslide susceptibility mapping based on GIS and with bivariate statistics. A case study in London area highway 212. Science paper online.